

Вид переходного процесса колебательный, поэтому изначально была задана структура объекта

$$W(s) = \frac{k}{(s - (\delta_1 + \omega_1 j))(s - (\delta_1 - \omega_1 j))}. \text{ Для заданной}$$

структуры объекта была получена система уравнений (22), в состав которой вошли зависимости, связывающие перерегулирование, время нарастания и регулирования с заданными полюсами и постоянной k , производная в точке максимума и уравнения, задающие вид полюсов. Идентификация с такой структурой не дала удовлетворительных результатов, рис. 5, поэтому порядок объекта повышался. Удовлетворительные результаты были получены при ПФ объекта пятого порядка с нулями $N_{1,2} = -9,412 \pm 0,944j$, $N_3 = -9,81$, полюсами $s_{1,2} = -0,281 \pm 2,414j$, $s_{3,4} = -2,167 \pm 0,337j$, $s_5 = -17,194$,

и постоянным множителем $k=3,34$. Максимальная относительная погрешность составила 4,88 %.

Выводы

1. Проведен анализ классических методов идентификации: частотного и с помощью переходной функции.
2. Получены соотношения, связывающие показатели качества переходного процесса с значениями нулей, полюсов и постоянного множителя передаточной функции идентифицируемого объекта.
3. Предложена методика идентификации объектов на основе характеристик переходного процесса.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. ГК 16.740.11.0268.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов В.И. Идентификация и диагностика систем. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 156 с.
2. Ефимов С.В., Гайворонский С.А., Замятин С.В. Задачи корневого анализа и синтеза и синтеза систем автоматического управления // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 5. – С. 16–20.
3. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматических систем. – М.: Наука, 1972. – 448 с.
4. Ефимов С.В., Гайворонский С.А., Замятин С.В., Суходоев М.С. Определение желаемой области расположения доминирующих полюсов замкнутой системы с учетом её нулей // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 5. – С. 57–61.

Поступила 04.10.2010 г.

УДК 004.021:658.58

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ПО СОСТОЯНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТ ШУХАРТА

Е.И. Громаков, Т.В. Александрова, А.В. Рудаченко, А.М. Малышенко

Томский политехнический университет

E-mail: gromakov@tpu.ru

Показана возможность использования методологии статистического управления процессами для выявления деградации состояния технологического оборудования на ранней стадии развития аварийной ситуации. Предложено использовать карты Шухарта для контроля его состояния. Сделан вывод, что с их помощью можно отслеживать динамику состояния технологического оборудования как роторного (с вращающимися силовыми блоками), так и нероторного типов в реальном масштабе времени.

Ключевые слова:

Техническое обслуживание и ремонт, процесс статистического контроля, контрольная карта.

Key words:

Maintenance works and repair, statistical process control, control charts.

Введение

При эксплуатации технологического оборудования различают три основные стратегии управления его технического обслуживания и ремонта (ТОиР):

- техническое обслуживание по событию (ТОС);
- планово-предупредительный ремонт (ППР);
- обслуживание по фактическому состоянию (ОФС).

Каждая из перечисленных стратегий имеют свои достоинства и недостатки.

Существует устойчивое стремление предприятий объединять достоинства всех основных стратегий технического обслуживания и ремонта путем использования совмещенного технического обслуживания (СТО-подхода), направленного как на снижение общего объема технического обслуживания, так и на максимизацию срока службы оборудования.

Идея такого технического обслуживания заключается в том, что на каждом временном горизонте планирования ТОиР используются свои технологии (ППР, ОФС). Так на долгосрочном горизонте планируются веховые показатели ППР. Такие показатели рассчитываются прямым методом. На оперативных горизонтах планирования показатели ТОиР определяются на основании статистической обработки данных измерений состояния оборудования ОФС, и при их отсутствии формируется финансовый резерв.

В соответствии с совмещенным техническим обслуживанием по мере сокращения горизонта планирования осуществляется последовательное уточнение плановых показателей ТОиР. Основа для такого уточнения – данные о фактическом состоянии оборудования, технологических режимах его работы, а также выполнение планов по техническому обслуживанию и ремонту оборудования в предыдущих периодах.

При использовании технологии СТО выделяются отдельные группы технологического оборудования в соответствии с особенностями его эксплуатации. Например, в нефтегазовой отрасли и в горнодобывающей промышленности выделяется оборудование роторной группы с вращающимися силовыми блоками. Такое оборудование создает вибрационные деформации, частота и амплитуда которых позволяет контролировать наступление времени технического обслуживания. Для диагностики состояния оборудования роторного типа используется виброконтрольная техника. Алгоритмы выявления необходимости ТОиР рекомендуются ГОСТ Р ИСО 10816, ч. 1–4 и СТП, например, РД 153–39-ТЦ-008-96. Для диагностики оборудования нероторного типа каких-либо стандартизированных методик не предложено.

Существенными недостатками СТО являются повышенные требования к квалификации персонала и сравнительно высокая вероятность ложных тревог, в особенности в случае сложного оборудования.

С целью снижения вероятности ложных тревог и повышения событийной достоверности технического обслуживания в настоящей работе предлагается формализованная методология контроля необходимости технического обслуживания и ремонта состояния технологического оборудования с использованием контрольных карт Шухарта.

Постановка задачи

В методологии статистического управления качеством процессов находят широкое применение статистические методы [1]. При их использовании особое внимание уделяется вопросам снижения ложных тревог и повышения достоверности оценки контролируемых показателей процессов. Расширение применения этой методологии для контроля состояния технологического оборудования, как роторного, так и нероторного типов позволит решить задачу увеличения достоверности контроля его технического состояния [5].

Достижения в разработке контрольно-измерительной аппаратуры, внедрение SCADA-систем управления технологическими процессами обеспечивают возможность не только анализировать состояние оборудования путем измерения его технических параметров, но и предсказывать на основе анализа изменений измеренных параметров необходимость проведения ремонта и планировать его сроки, т. е. проводить ремонт оборудования только тогда, когда он необходим. Использование рекомендаций SCADA-систем о состоянии оборудования снижает требования к квалификации работников ремонтных служб.

Использование на оперативном горизонте планирования ТОиР компьютерного мониторинга состояния оборудования предполагает регулярную оценку технического состояния механизма на эксплуатационных режимах его работы и контроль как по первичным, так и по вторичным атрибутам, косвенным образом характеризующих эксплуатационные параметры оборудования. Требования по контролю вторичных параметров (вибрации, температуры подшипников, энергии потребления и др.) могут быть сформулированы, например, следующим образом:

- они должны иметь однозначную количественную взаимосвязь с первичными параметрами технического состояния;
- их измерение должно обеспечиваться как средствами действующей SCADA-системы, так, и простыми портативными техническими средствами, не требующими высокой квалификации персонала;
- диапазон измерения контролируемых параметров в процессе работы механизма от состояния «хорошо» до состояния «недопустимо» должен быть достаточно большим (в большинстве случаев контролируемый эксплуатационный параметр может меняться более чем в 15...20 раз);
- достоверность контроля по вторичным параметрам должна быть не ниже 80 %.

Алгоритм статистического контроля состояния оборудования

Для расширения области стандартизированного контроля изменчивости состояния оборудования по вторичным параметрам предлагается использовать критерии идентификации выявления особых трендов параметров, приведенные в ГОСТ Р 50779.42-99 «Статистические методы. Карты Шухарта» [3].

Карты Шухарта предназначены для решения следующих задач:

- непрерывный статистический анализ состояния технологических процессов во времени;
- регулярный контроль технологической точности оборудования, заданной эксплуатационной документацией;
- выявление причин неустойчивости технологического процесса во времени;
- установление возможностей модернизации технологических процессов;

- осуществление статистического управления технологическими процессами. Эти карты позволяют:
- визуализировать фактические данные;
- минимизировать возможность «ложных тревог» и «шоковых ударов»;
- обнаруживать причины вариаций;
- минимизировать ложное вмешательство в процессы и бесполезные работы по техническому обслуживанию;
- формировать эффективную обратную связь на предпринятые действия по устранению неблагоприятных трендов.

\bar{X} – R -карта Шухарта – это эффективный способ выявления деградации любых контролируемых процессов на ранней стадии. Поэтому воспользуемся этой методологией для контроля трендового изменения состояния технологического оборудования.

\bar{X} -карта предназначена для мониторинга процесса по количественному признаку [3]. Эта карта строится следующим образом. Из результатов измерений контролируемого показателя формируются однородные выборки (группы), каждая из которых содержит некоторое количество измерений. По каждой выборке вычисляется выборочное среднее \bar{X} , которое наносится на карту. Относительно центральной линии на расстоянии, равном трем среднеквадратическим отклонениям выборочных средних значений σ , на карту наносят контрольные границы.

При построении R -карты по каждой выборке (группе измерений) находят размах, который наносят на карту с установленными на ней контрольными границами. Размах R – это разность между наибольшим и наименьшим значением в каждой выборке.

Выход точки за контрольные границы сигнализирует о разладке процесса. Рекомендуется строить одновременно карту среднего \bar{X} и карту размахов R на одном листе [3].

Расчетные формулы для построения контрольных пределов карт Шухарта приведены ниже.

Верхний предел для \bar{X} -карты:

$$B_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}.$$

Нижний предел для \bar{X} -карты:

$$H_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}.$$

Верхний предел для R -карты:

$$B_r = D_4 \bar{R}.$$

Нижний предел для R -карты:

$$H_r = D_3 \bar{R}.$$

Здесь $\bar{\bar{X}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{X}_i$ – среднее значение для вы-

борки; n – объем выборки (число наблюдений) в подгруппе; $\bar{\bar{X}}$ – среднее средних значений для всех выборок; \bar{R} – среднее значение размаха для

всех выборок; значения A_2 , D_3 , D_4 выбираются из специальных таблиц исходных коэффициентов, приведенных в [3].

Динамика контроля состояния оборудования задается требуемым периодом сбора данных. При использовании карт Шухарта он очевидным образом привязывается к эксплуатационным характеристикам технологического оборудования. Период выборок измерений в зависимости от горизонта планирования может задаваться либо исходя из требований эксплуатационной документации, либо из опыта эксплуатации подобного оборудования.

Карты Шухарта обычно используют данные, получаемые выборочно через примерно равные интервалы. Они в свою очередь могут быть заданы либо по времени, либо по объему производимой продукции.

На практике объем выборки n в точке контроля и частоту контроля определяют чаще всего по опыту, причем объем редко бывает больше, чем 15 (часто, для удобства вычисления применяют нечетные числа [4]).

Общих правил для выбора частоты отбора подгрупп и их объемов не существует. Обычно 20–25 выборок с четырьмя или пятью измерениями в каждой рассматриваются как приемлемые для получения предварительных оценок на каждом уровне планирования.

Для детального анализа контрольных \bar{X} -карты Шухарта используется метод анализа зон [3]. Для этого область контрольной карты над центральной линией карты и под ней делится на три эквивалентные «зоны» A , B и C . Эти зоны называют «сигмовыми» зонами, где σ – стандартное отклонение распределения выборочных средних. Каждой зоне приписывают вероятность нахождения в ней точек, наносимых на контрольную карту, в предположении нормального закона распределения. Если измерения контролируемого параметра имеют нормальное распределение, то около 68,26 % всех значений лежат в пределах $\pm\sigma$ от центральной линии, около 95,44 % – в пределах $\pm 2\sigma$ и около 99,73 % – в пределах $\pm 3\sigma$. Эти данные являются основой для принятия решений о необходимости техобслуживания.

Считается, что ложная тревога, риск того, что нанесенная на диаграмме точка, оказавшаяся вне контрольных пределов, не соответствует действительности равен 0,3 % (или три на тысячу случаев). Другими словами, вероятность того, что нарушение контрольных пределов, в самом деле, случайное событие, а не реальный сигнал, является столь малой, что при появлении точки вне пределов следует предпринимать необходимые действия по техническому обслуживанию. Поэтому 3σ контрольные пределы называют *границами действий*.

Пределы на контрольной карте, установленные на расстоянии 2σ называют *предупреждающими* (рис. 1).

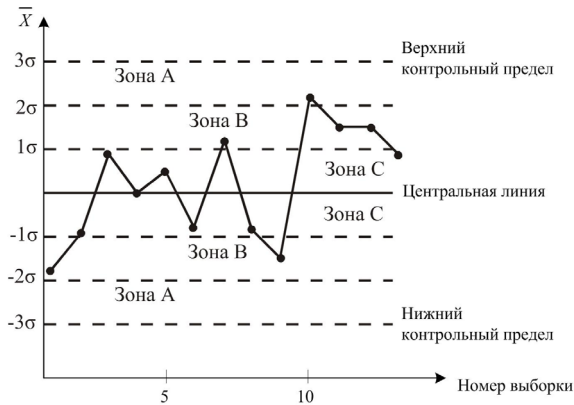


Рис. 1. Пример контрольной \bar{X} -карты

По положению среднего значения выборки измерений технологических параметров (\bar{X} -карта) осуществляется наблюдение за уровнем настройки технологического оборудования, а по положению размаха (R -карта) измерений параметра процесса осуществляется наблюдение за уровнем рассеивания значений относительно средних.

Используя для контроля состояния технологического оборудования математическую формализацию правил интерпретации контрольных карт Шухарта, изложенных в [3], можно представить их в следующем виде:

$$F_1(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \exists j < i \parallel y(x_j) \notin (-3\sigma, 3\sigma), \\ 0, & \text{if } \forall j < i \parallel y(x_j) \in (-3\sigma, 3\sigma); \end{cases}$$

$$F_2(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-2) \parallel y(x_j) \in (2\sigma, 3\sigma), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-2) \parallel y(x_j) \notin (2\sigma, 3\sigma); \end{cases}$$

$$F_3(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-4) \parallel y(x_j) \in (1\sigma, 2\sigma), \\ 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-4) \parallel y(x_j) \in (-1\sigma, -2\sigma), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-4) \parallel y(x_j) \notin (1\sigma, 2\sigma), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-4) \parallel \text{sgn}(y(x_j)) \neq \text{sgn}(y(x_i)); \end{cases}$$

$$F_4(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-7) \parallel \text{sgn}(y(x_j)) = \text{sgn}(y(x_i)), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-7) \parallel \text{sgn}(y(x_j)) \neq \text{sgn}(y(x_i)), \end{cases}$$

где i – номер текущей точки; $F_1(i)$, $F_2(i)$, $F_3(i)$, $F_4(i)$ – соответственно, «выход одной точки за границы 3σ », «две из трех последовательных точек, лежащих по одну сторону от средней линии, находятся в зоне 3σ », «четыре из пяти последовательных точек, лежащих по одну сторону от средней линии, находятся в зоне 2σ », «семь точек по одну сторону от средней линии»; $y(x_i)$ – значение x_i точки контрольной карты; σ , 2σ , 3σ – зоны контрольной карты.

Формализованные правила интерпретации контрольных карт Шухарта были использованы при разработке алгоритма (рис. 2) для советующего блока экспертной системы, которая помогает оператору отследить отклонения в работе оборудования.

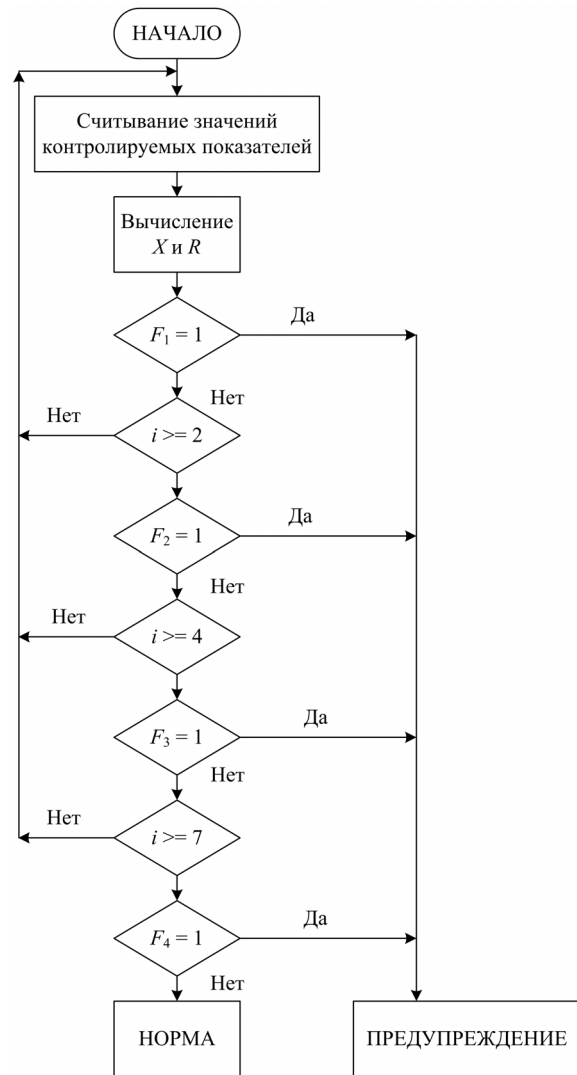


Рис. 2. Алгоритм выявления нарушений функционирования оборудования на основе статистических данных

Вариабельность и изменение среднего могут иметь разные причины, связанные как с настройкой оборудования, так и со случайным стечением обстоятельств. Поэтому рекомендуется использовать совмещенные контрольные \bar{X} – R -карты. Дополнительная R карта позволяет наблюдать за уровнем рассеивания контролируемого параметра. Этим обеспечивается более надежная оценка состояния технологического оборудования и сокращается излишнее вмешательство в него.

Пример экранной формы \bar{X} – R -карты для мониторинга состояния технологического оборудования (насосной станции) в течение 55 дней приведен на рис. 3.

Применение контрольных карт для количественного признака проходит ряд регламентированных этапов. Практическое применение контрольных карт Шухарта предполагает, что работа с оборудованием идет в три этапа [2].

На первом этапе осуществляется *предварительная статистическая настройка контрольных карт*. Она включает в себя:

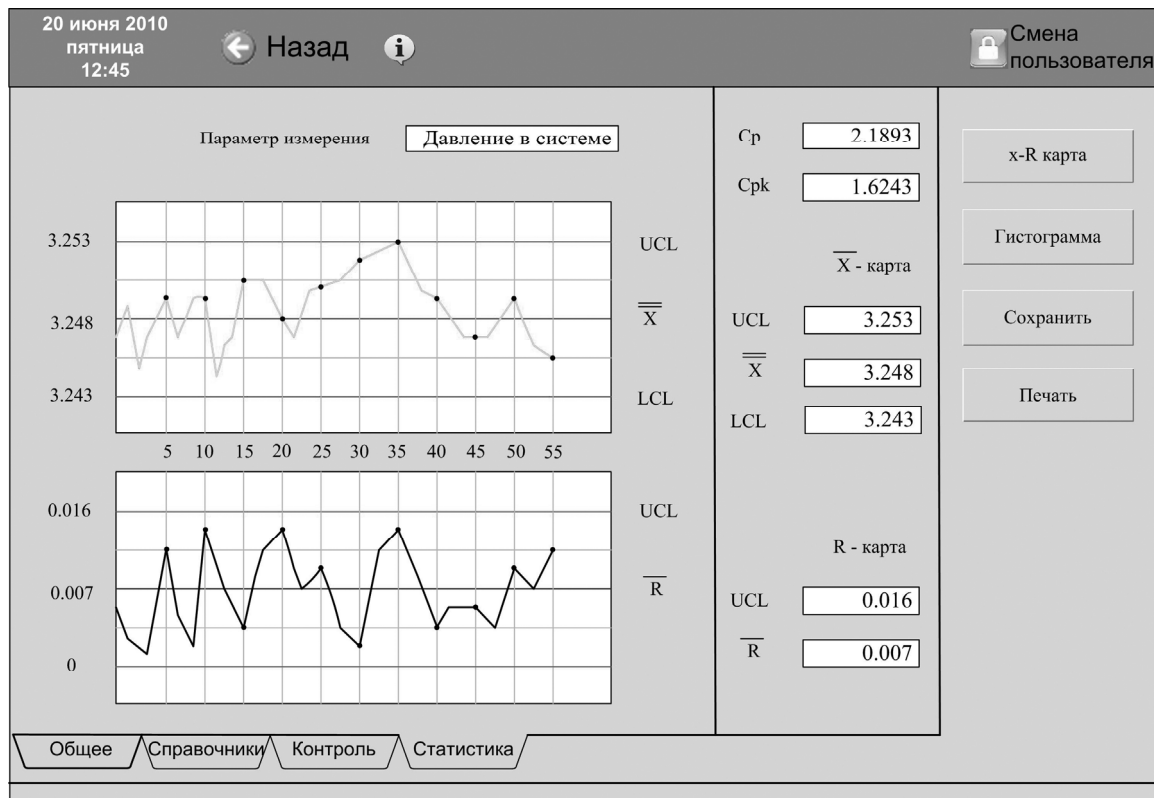


Рис. 3. Контрольная \bar{X} -R-карта Шухарта на экране монитора

- определение объема выборки и периодичности отбора выборок;
- сбор данных о состоянии оборудования;
- вычисление контрольных границ;
- анализ статистического состояния по данным предварительного анализа.

Полученные значения измерений заносятся в виде опций в форму «Подготовка стандартных данных к применению контрольной карты для количественного признака».

Стандартные значения – это эксплуатационные значения контролируемых параметров, установленные в соответствии с некоторыми конкретными технологическими требованиями или целями. Рекомендуется, чтобы стандартные значения определялись опытно на начале послепускового периода работы оборудования при нормальных условиях его эксплуатации на основе контролируемых измерений.

На этом этапе предполагается, что работа оборудования отвечает условию стабильности на протяжении некоторого времени, требуемого для сбора данных. Это предположение позволяет использовать среднее средних $\bar{\bar{X}}$ и средний размах \bar{R} для нахождения контрольных границ (пределов) \bar{X} -R-карты.

На этапе 2 ведется мониторинг процесса с использованием построенных контрольных границ.

На этапе 3 происходит снижение вариабельности (уменьшение ширины зоны между верхним

и нижним контрольными пределами) путем технического обслуживания в нужном направлении. Перенастройка и подналадка оборудования на этом этапе ведет к обновлению граничных значений карты Шухарта и к возможности ее использования в новом диапазоне измерения параметров оборудования. Это позволяет расширять диапазон контроля вторичных параметров на всем периоде его технического обслуживания.

На этапе мониторинга по карте Шухарта для интерпретации состояния оборудования можно использовать экспертную систему, которая в процессе опытной эксплуатации настраивается на реальную диагностику неисправностей оборудования. Рекомендации такой системы выдаются оператору в виде сообщений с экрана монитора. Форма выдачи этих сообщений настраивается в стиле «ненавязчивого совета», за исключением аварийных сигналов. В результате право выбора конкретного решения остается за оператором.

Выводы

1. Показана возможность использования методологии статистического управления процессами для выявления ранних стадий развития аварийной ситуации технологического оборудования роторного (с вращающимися силовыми блоками) и нероторного типов в реальном масштабе времени.
2. Установлено, что с использованием карт Шухарта достоверность необходимости техниче-

ского обслуживания и ремонта превышает 90 %.

3. Анализ контролируемых вторичных параметров во времени с использованием контрольных карт позволяет отслеживать динамику происходящих изменений в эксплуатационных характеристиках технологического оборудования

и обоснованно прогнозировать сроки и содержание его наладочных работ и ремонтов.

4. Периодическое обновление карт на оперативных горизонтах планирования технического обслуживания и ремонта позволяет использовать их в любом диапазоне изменения параметров оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51814.3-2001. Методы статистического управления процессами. – М.: Госстандарт России, 2001. – 40 с.
2. Рыбаков И.Н. Статистическое управление процессами (SPC). Ссылочное руководство. Корпорация Крайслер, Форд Мотор компании и Дженерал Моторс корпорейшн: Пер. с англ. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007. – 224 с.
3. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91). Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – М.: ИПК «Изд-во стандартов», 1999. – 32 с.
4. Миттаг Х.-Й., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества: Пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1995. – 616 с.
5. Александрова Т.В., Бикинеева Ю.Л., Громаков Е.И., Павлов В.М., Малышенко А.М. Интегрированная система автоматизации кабельного производства // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 5. – С. 69–75.

Поступила 17.09.2010 г.

УДК 004.89

ОСЦИЛЛЯТОРНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ – КЛАССИФИКАТОР

А.К. Стоянов

Томский политехнический университет

E-mail: stoj-ak@ad.cctpu.edu.ru

Рассматриваются особенности работы нейрона с локальной обратной связью. Показано, что возможен переход нейрона в колебательный режим работы. Это свойство положено в основу создания сети, решающей задачу классификации объектов. Дается методика расчёта параметров нейронов сети. Приводятся результаты экспериментальной проверки работы такой сети.

Ключевые слова:

Нейрон, осцилляторная нейронная сеть, точечные отображения, неподвижные точки, предельный цикл, классификация, когерентное сложение.

Key words:

Neuron, oscillatory neural network, point map, critical point, boundary cycle, classification, coherent combining.

Введение

Существует класс нейронных сетей – осцилляторных нейронных сетей, в котором рассматриваются колебательные аспекты их функционирования [1]. Изучение таких сетей стимулируется результатами нейрофизиологических экспериментов, указывающих на существенную роль колебательных процессов в работе нервной системы. Функциональной единицей осцилляторных нейронных сетей, как правило, является осциллятор, т. е. объект с колебательными свойствами. В зависимости от целей исследования выбирается не только определенная архитектура связей сети, но и конструкция отдельного осциллятора.

Предметом данной работы является моделирование колебательного режима нейрона и создание на его основе нейронной сети-классификатора.

Модель нейронного осциллятора

Переход нейрона в колебательный режим работы легко получить, исходя из свойств точечного отображения.

Рассмотрим нейрон, который охвачен локальной обратной связью, то есть выходной сигнал нейрона подаётся на его вход [2, 3]. Таким способом реализуется точечное отображение значения входного сигнала нейрона на его активационной функции.

Это отображение может быть записано соотношением вида $x_{n+1}=f(x_n)$, где $n=1,2,3, \dots$ – номер итерации отображения входного значения, а $f(x_n)$ – активационная функция нейрона. Положим, что в общем случае $f(x)$ является сигмоидой с коэффициентом наклона $\alpha > 0$, смещением β и коэффициентом $\mu > 0$: